

BAB 1 : PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pneumonia merupakan infeksi pada saluran pernapasan yang menjadi penyebab utama kematian anak secara global.⁽¹⁾ Penyakit ini tidak dipicu oleh satu agen penyebab tunggal, melainkan terjadi akibat infeksi bakteri, virus, jamur, maupun parasit. Di antara berbagai patogen tersebut, *Streptococcus pneumoniae* dikenal sebagai penyebab paling dominan, khususnya pada kelompok balita.⁽²⁾ Data dari *United Nations International Children's Emergency Fund* (UNICEF) tahun 2024 menunjukkan bahwa pneumonia, bersama dengan diare dan malaria, secara konsisten menempati posisi teratas sebagai penyebab kematian balita akibat penyakit menular.⁽³⁾ Dalam kerangka *Sustainable Development Goals* (SDGs), ditetapkan komitmen global untuk mengakhiri seluruh kematian anak yang sebenarnya dapat dicegah pada tahun 2030.⁽⁴⁾ Sejalan dengan tujuan tersebut, *Integrated Global Action Plan for the Prevention and Control of Pneumonia and Diarrhea* menetapkan sasaran penurunan angka kematian akibat pneumonia pada balita menjadi 3 kematian per 1.000 kelahiran hidup pada tahun 2025.⁽⁴⁾ Mendukung agenda global ini, Kementerian Kesehatan Republik Indonesia menargetkan penurunan kejadian pneumonia berat pada balita hingga 75% serta menekan angka kematian balita akibat pneumonia menjadi kurang dari 3 per 1.000 kelahiran hidup pada tahun 2030.⁽⁵⁾

Pneumonia merupakan ancaman kesehatan utama bagi anak usia di bawah lima tahun dan masih menunjukkan tren yang memprihatinkan, karena tetap menjadi penyebab kematian utama pada anak dibandingkan penyakit menular lainnya.⁽⁶⁾ Secara global, beban penyakit ini masih tinggi dan menunjukkan distribusi yang tidak merata, dengan konsentrasi kasus terbesar berada di wilayah Afrika dan Asia, khususnya Asia Selatan dan Asia Tenggara.⁽²⁾ Distribusi tersebut tercermin dari tingginya insiden pneumonia di beberapa kawasan, di mana Asia Selatan mencatat tingkat kejadian tertinggi, diikuti oleh wilayah Afrika Barat dan Tengah.⁽⁶⁾ Laporan *International Vaccine Access Center* (IVAC) tahun 2020 juga menempatkan Indonesia sebagai salah satu negara yang memerlukan perhatian serius terkait tingginya angka pneumonia pada balita.⁽⁷⁾

Kementerian Kesehatan Republik Indonesia menegaskan bahwa pneumonia masih memberikan kontribusi signifikan terhadap morbiditas dan mortalitas pada

kelompok balita.⁽⁸⁾ Pernyataan tersebut didukung oleh data peningkatan kasus selama empat tahun terakhir. Berdasarkan Profil Kesehatan Indonesia dari tahun 2021 hingga 2024, prevalensi kasus mengalami peningkatan, dari 1,56% menjadi 2,04% yang mengalami kenaikan sebesar 0,48%.⁽⁹⁻¹²⁾ Pada kelompok bayi berusia 29 hari hingga 11 bulan, pneumonia menyumbang 15,3% terhadap angka kematian, sedangkan pada kelompok anak usia 1–5 tahun mencapai 12,5%. Apabila merujuk pada data sebelumnya, prevalensi pneumonia balita di Indonesia pernah mencapai 4,8% pada tahun 2018, sementara pada tahun 2013 tercatat sebesar 1,8%.⁽¹³⁻¹⁴⁾ Kondisi tersebut menunjukkan bahwa peningkatan kejadian pneumonia pada balita tidak hanya dipengaruhi oleh faktor klinis dan individu, tetapi juga berkaitan erat dengan faktor lingkungan yang berperan sebagai determinan kesehatan.⁽⁹⁾ Paparan lingkungan yang tidak sehat, khususnya kualitas udara yang buruk, dapat meningkatkan kerentanan balita terhadap gangguan saluran pernapasan.^{(10) (11) (12) (13) (14) (15) (16)}

Pencemaran udara merupakan faktor risiko yang berkontribusi terhadap peningkatan insidensi pneumonia pada balita.⁽¹⁷⁾ Berbagai riset terdahulu telah mengkaji keterkaitan antara pencemaran udara dengan kejadian pneumonia.⁽¹⁸⁾ Studi yang dilakukan di Thailand menunjukkan adanya korelasi positif antara kejadian pneumonia dengan paparan polutan seperti PM₁₀, NO₂, dan SO₂.⁽¹⁸⁾ Hasil serupa juga dilaporkan dalam penelitian di Shanghai, yang menemukan bahwa peningkatan konsentrasi PM₁₀ dan PM_{2.5} berhubungan dengan meningkatnya insiden pneumonia.⁽¹⁹⁾ Secara biologis, partikel partikulat berukuran kecil mampu menembus hingga ke alveoli, bagian terdalam dari saluran pernapasan, sehingga memicu iritasi dan respons inflamasi.⁽²⁰⁾ Proses inflamasi tersebut dapat menyebabkan penumpukan cairan di alveoli yang berujung pada gangguan pertukaran gas dan timbulnya gejala sesak napas.⁽²⁰⁾ Selain itu, *particulate matter* juga dapat berinteraksi dengan polutan lain seperti NO_x dan SO_x, yang berpotensi memperburuk dampak terhadap sistem pernapasan.⁽²⁰⁾ Penelitian di Ankara, Turki, menunjukkan adanya hubungan positif antara beberapa parameter pencemaran udara, yaitu PM₁₀, NO, NO₂, NO_x, dan CO, dengan jumlah pasien pneumonia yang menjalani perawatan di fasilitas kesehatan.⁽²¹⁾ Studi di Kota Kaohsiung, Taiwan, juga mengidentifikasi bahwa paparan PM_{2.5} dan NO₂ secara signifikan berkaitan dengan peningkatan kasus pneumonia pada anak-anak.⁽²²⁾ Sementara itu, penelitian di Jakarta melaporkan adanya hubungan bermakna antara konsentrasi PM₁₀, O₃, dan CO dengan kejadian pneumonia pada balita.⁽²³⁾

Meskipun balita lebih banyak beraktivitas di dalam rumah, hal ini tidak sepenuhnya melindungi mereka dari dampak polusi udara.⁽²⁴⁾ Polutan eksternal seperti PM_{2.5} dapat menembus ruangan melalui ventilasi, celah jendela, maupun saat pintu terbuka, sehingga kualitas udara dalam ruangan pun ikut tercemar. Paparan polutan tersebut telah terbukti berkontribusi terhadap kejadian pneumonia pada anak. Mengingat sistem pernapasan balita yang masih dalam tahap perkembangan serta frekuensi napas yang lebih tinggi dibanding orang dewasa, kelompok usia ini memiliki risiko lebih besar terhadap gangguan pernapasan akibat polusi, bahkan ketika berada di lingkungan dalam ruangan sekalipun.⁽²⁴⁾

Secara patofisiologis, gangguan ini bermula ketika polutan seperti PM_{2.5}, NO₂, dan CO terhirup ke dalam saluran napas balita.⁽²¹⁾ Ukuran saluran napas yang lebih sempit serta sistem imun yang belum berkembang sempurna menjadikan balita kelompok yang paling rentan terhadap paparan zat-zat berbahaya tersebut. Polutan yang masuk akan mengiritasi epitel saluran napas, memicu kaskade inflamasi disertai pelepasan mediator pro-inflamasi, yang pada akhirnya menyebabkan edema jaringan, peningkatan sekresi mukus, dan gangguan pertukaran gas. Secara bersamaan, polutan merusak sistem mukosiliar mekanisme pertahanan alami saluran napas, sehingga kemampuan silia dalam membersihkan partikel asing dan patogen menurun. Kondisi ini menciptakan lingkungan yang kondusif bagi kolonisasi mikroorganisme patogen seperti *Streptococcus pneumoniae* dan berbagai virus respiratori. Kombinasi antara disfungsi mukosiliar dan proses inflamasi yang persisten melemahkan pertahanan imun paru-paru secara keseluruhan, memungkinkan patogen mencapai alveoli dan memicu respons inflamasi yang lebih masif, ditandai dengan akumulasi eksudat dan sel-sel inflamasi di ruang alveolar. Kondisi inilah yang berkembang menjadi pneumonia, dengan masa inkubasi berkisar 1–3 hari dan gejala klinis berupa batuk, sesak napas, serta demam yang berlangsung selama 24–48 jam. Pada balita, progresi penyakit ini cenderung berlangsung lebih cepat dan lebih berat, mengingat terbatasnya cadangan fisiologis sistem pernapasan mereka.⁽²¹⁾

Meskipun berbagai penelitian telah menunjukkan hubungan antara paparan polutan udara dan kejadian penyakit, sebagian besar studi masih menggunakan model regresi konvensional, seperti regresi log-linier Poisson dalam analisis deret waktu.⁽²⁵⁾ Namun, pendekatan ini memiliki keterbatasan karena hasil estimasinya sangat bergantung pada spesifikasi model dan pemilihan struktur lag. Selain itu, model regresi konvensional umumnya mengasumsikan hubungan linier antara paparan dan luaran

serta hanya mempertimbangkan lag secara terpisah, sehingga belum mampu menggambarkan secara komprehensif efek paparan yang dapat terjadi dalam beberapa hari setelah pajanan.⁽²⁵⁾ Selain itu, penggunaan model dengan *lag* tunggal dapat meremehkan efek kumulatif apabila dampak paparan tersebar dalam beberapa hari, sehingga pemilihan struktur *lag* yang tidak tepat berisiko menghasilkan estimasi yang bias.⁽²⁶⁾ Model *distributed lag* konvensional juga dinilai lebih sesuai untuk menggambarkan efek *lag* yang bersifat linier, namun memiliki keterbatasan dalam merepresentasikan hubungan paparan–respon yang non-linier secara simultan dengan efek keterlambatan.⁽²⁷⁾

Dalam kajian epidemiologi lingkungan, hubungan antara paparan polutan udara dan kejadian penyakit tidak selalu berlangsung secara langsung maupun menunjukkan pola hubungan yang linier.⁽²⁷⁾ Dampak kesehatan akibat paparan pencemar udara dapat muncul setelah selang waktu tertentu (*lag effect*) dan besarnya risiko sering kali meningkat secara tidak proporsional seiring bertambahnya konsentrasi polutan.⁽²⁷⁾ Kondisi ini menuntut penggunaan pendekatan analisis yang mampu menggambarkan hubungan paparan-respons yang kompleks.⁽²⁷⁾ Salah satu pendekatan analitik yang dikembangkan untuk menjawab kompleksitas tersebut adalah *Distributed Lag Non-Linear Model* (DLNM).⁽²⁷⁾ DLNM merupakan kerangka pemodelan statistik yang dirancang untuk menganalisis hubungan non-linear sekaligus efek tertunda dari paparan lingkungan terhadap luaran kesehatan melalui pembentukan *cross-basis function*.⁽²⁷⁾

Pemanfaatan DLNM dalam epidemiologi lingkungan digunakan untuk menganalisis dampak jangka pendek polutan udara terhadap kejadian pneumonia.⁽²⁸⁾ Penelitian yang dilakukan di Wuhan, China menunjukkan bahwa paparan polutan udara ambien, khususnya PM_{2.5}, SO₂, dan NO₂, berhubungan secara bermakna dengan peningkatan kunjungan rawat jalan akibat pneumonia.⁽²⁹⁾ Hasil analisis DLNM mengungkapkan adanya hubungan yang bersifat non-linear serta efek keterlambatan paparan, di mana risiko pneumonia akibat PM_{2.5} mencapai puncaknya pada lag hari ke-4 hingga ke-6, dan efek kumulatifnya dapat berlangsung hingga 11–14 hari setelah pajanan.⁽²⁹⁾ Temuan tersebut sejalan dengan penelitian di Lanzhou, China melaporkan bahwa paparan jangka pendek terhadap berbagai polutan udara, seperti PM_{2.5}, PM₁₀, SO₂, NO₂, dan CO, berhubungan signifikan dengan peningkatan risiko rawat inap pneumonia.⁽³⁰⁾ Studi ini menunjukkan bahwa polutan gas cenderung memberikan dampak yang lebih kuat dibandingkan partikel, serta mengidentifikasi anak usia 0–14

tahun dan perempuan sebagai kelompok yang paling rentan, terutama pada musim dingin.⁽³⁰⁾ Selanjutnya, penelitian di Rumah Sakit Sir Run Run Shaw, China menemukan bahwa peningkatan konsentrasi PM_{2.5} berhubungan dengan meningkatnya risiko pneumonia berat yang memerlukan perawatan di unit perawatan intensif.⁽²⁸⁾ Melalui pendekatan DLNM, penelitian tersebut menunjukkan bahwa efek paparan PM_{2.5} tidak terjadi secara langsung, melainkan mencapai risiko tertinggi pada lag hari ke-3 hingga ke-4 setelah paparan, sebelum kemudian menurun secara bertahap.⁽²⁸⁾ Hasil yang serupa juga ditunjukkan pada Qindao, China yang menyatakan bahwa paparan jangka pendek terhadap sulfur dioksida (SO₂) dan partikel halus PM_{2.5} berhubungan signifikan dengan peningkatan kejadian rawat inap pneumonia.⁽³¹⁾ Analisis DLNM mengungkapkan bahwa peningkatan SO₂ sebesar 10 µg/m³ dengan keterlambatan hingga empat minggu dapat meningkatkan risiko pneumonia lebih dari dua kali lipat, yang menegaskan adanya efek tertunda paparan polutan udara terhadap kejadian pneumonia.⁽³¹⁾

Di Provinsi Sumatera Barat, capaian penemuan kasus pneumonia pada anak usia di bawah lima tahun tercatat sebesar 18,4%, dengan jumlah balita yang teridentifikasi menderita pneumonia sebanyak 3.595 kasus serta dilaporkan 9 kematian.⁽³²⁾ Selama lima tahun terakhir, kejadian pneumonia pada balita menunjukkan pola yang berfluktuasi.⁽³³⁾ Terjadi penurunan yang sangat tajam dari tahun 2020 ke 2021, kemudian diikuti peningkatan kecil pada tahun 2022 sebagai tanda awal kenaikan kembali kasus. Selanjutnya, dari tahun 2022 ke 2023 terjadi peningkatan yang cukup besar, yang menunjukkan adanya perubahan kondisi yang meningkatkan risiko kejadian.⁽³³⁾ Tren ini terus berlanjut hingga tahun 2024 dengan kecenderungan yang semakin meningkat. Secara keseluruhan, pola antar tahun menunjukkan penurunan tajam yang kemudian diikuti oleh kenaikan kembali secara bertahap.⁽³³⁾

Selama periode yang sama, Kota Padang menempati peringkat tertinggi kasus pneumonia balita di Sumatera Barat.⁽³³⁾ Dinamika kejadian pneumonia balita di kota ini menunjukkan perubahan yang cukup tajam dari tahun ke tahun. Pada periode awal tahun 2021 sampai 2022, prevalensi masih relatif rendah dan hanya mengalami peningkatan kecil, yang menggambarkan kondisi kejadian yang masih terkendali.⁽³³⁾ Namun, pada tahun 2023 terjadi lonjakan yang sangat tajam, menandakan adanya peningkatan risiko atau perubahan faktor yang memengaruhi kejadian penyakit. Setelah itu, pada tahun 2024 terlihat sedikit penurunan, yang dapat menunjukkan

adanya perbaikan sementara atau dampak intervensi. Meskipun demikian, pada tahun 2025 prevalensi kembali meningkat dan bahkan menjadi yang tertinggi, sehingga secara keseluruhan pola ini menunjukkan bahwa kejadian pneumonia pada balita masih belum stabil dan cenderung mengalami peningkatan dalam jangka waktu tertentu.⁽³³⁾

Berdasarkan pemantauan kualitas udara, kondisi udara ambien di Kota Padang umumnya masih berada pada kategori “sedang”.⁽³⁴⁾ Namun, laporan Dinas Lingkungan Hidup Kota Padang tahun 2023 menunjukkan terjadinya penurunan kualitas udara, khususnya pada parameter $PM_{2.5}$ yang berubah dari kategori “sedang” menjadi “tidak sehat”.⁽³⁴⁾ Kondisi ini dipengaruhi oleh kejadian kebakaran hutan dan lahan, arah angin dominan, serta fenomena El Nino yang turut memperburuk kualitas udara.⁽³⁴⁾ Dokumen Pemantauan Kualitas Udara Kota Padang tahun 2019 mencatat bahwa konsentrasi PM_{10} sebesar 70,56 pada periode pertama mengalami penurunan menjadi 68,28 pada periode kedua.⁽³⁵⁾ Selain itu, penelitian yang dilakukan oleh Bingesti pada tahun 2018 di kawasan Jalan Dr. Hamka menunjukkan kadar nitrogen dioksida (NO_2) sebesar 256,015 $\mu g/m^3$ yang terutama bersumber dari aktivitas lalu lintas kendaraan bermotor.⁽³⁶⁾

Beberapa penelitian berbasis studi ekologi yang telah dilakukan di Kota Padang menunjukkan adanya keterkaitan antara kualitas udara dan kejadian pneumonia pada balita.⁽³⁷⁾ Penelitian pada periode 2020–2024 melaporkan bahwa peningkatan konsentrasi polutan udara, baik partikulat maupun gas, seperti $PM_{2.5}$, PM_{10} , karbon monoksida (CO), dan ozon (O_3), berhubungan dengan peningkatan kejadian pneumonia balita, dengan konsentrasi PM_{10} sebagai faktor yang paling dominan.⁽³⁷⁾ Penelitian pada periode 2021–2023 menegaskan bahwa polutan partikulat halus, khususnya $PM_{2.5}$, merupakan faktor lingkungan yang paling berpengaruh terhadap kejadian pneumonia balita dibandingkan unsur iklim dan polutan lainnya, yang mengindikasikan tingginya risiko kesehatan akibat paparan partikel berukuran kecil yang mudah terhirup hingga saluran pernapasan bawah.⁽³⁸⁾ Seiring perkembangan pendekatan analisis, penelitian terbaru pada periode 2023–2024 dengan menggunakan parameter Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU) dan analisis spasial menunjukkan bahwa polutan gas, terutama CO dan O_3 , juga memiliki hubungan yang signifikan dengan kejadian pneumonia pada balita, dengan O_3 sebagai faktor dominan serta adanya variasi risiko antarwilayah pelayanan kesehatan di Kota Padang.⁽³⁹⁾

Berdasarkan data kejadian pneumonia pada balita di Kota Padang, penyakit ini masih merupakan salah satu penyebab utama kematian pada kelompok usia tersebut.⁽³³⁾ Kondisi ini tidak hanya dipengaruhi oleh faktor individu, tetapi juga berkaitan dengan faktor lingkungan, khususnya paparan polutan udara. Meskipun hubungan antara pencemaran udara dan kejadian pneumonia telah banyak dilaporkan dalam berbagai penelitian internasional, penerapan pendekatan analitik yang mampu menangkap hubungan paparan-respons secara non-linear serta efek keterlambatan paparan masih sangat terbatas, terutama di Indonesia. Hingga saat ini, sebagian besar penelitian di tingkat nasional dan lokal masih menggunakan pendekatan deskriptif atau model regresi konvensional, dan belum banyak yang menerapkan *Distributed Lag Non-Linear Model* (DLNM) untuk menganalisis dampak polutan udara terhadap kejadian pneumonia pada balita. Selain itu, kajian yang mengaitkan kejadian pneumonia balita dengan paparan polutan udara berdasarkan radius pengukuran *Air Quality Monitoring System* (AQMS), serta menganalisis seluruh parameter polutan udara secara komprehensif (PM₁₀, PM_{2.5}, NO₂, CO, dan O₃), masih sangat terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengkaji hubungan polutan udara terhadap kejadian pneumonia pada balita di Kota Padang dengan menggunakan pendekatan DLNM pada periode tahun 2023-2025.

1.2. Perumusan Masalah

Pneumonia masih menjadi salah satu penyakit menular utama yang berkontribusi besar terhadap tingginya angka kesakitan dan kematian pada balita di Indonesia, termasuk di Kota Padang yang tercatat sebagai wilayah dengan kejadian pneumonia balita tertinggi di Provinsi Sumatera Barat. Berdasarkan kajian pada latar belakang, diketahui bahwa paparan polutan udara memengaruhi kejadian pneumonia pada balita. Namun, penerapan pendekatan analitik yang mampu menangkap hubungan paparan-respons secara non-linear serta efek keterlambatan paparan masih sangat terbatas, terutama di Indonesia. Penelitian yang secara khusus mengkaji hubungan polutan udara terhadap kejadian pneumonia pada balita di Kota Padang terutama yang menggunakan data paparan berdasarkan radius *Air Quality Monitoring System* (AQMS) serta mempertimbangkan adanya efek non-linear dan efek keterlambatan paparan masih sangat terbatas. Berdasarkan kondisi tersebut, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah bagaimana hubungan paparan polutan udara

dengan kejadian pneumonia pada balita di Kota Padang menggunakan pendekatan *Distributed Lag Non-Linear Model* (DLNM) selama periode 2023–2025?

1.3. Tujuan Penelitian

Mengetahui hubungan paparan polutan udara terhadap kejadian pneumonia pada balita di Kota Padang berdasarkan radius *Air Quality Monitoring System* (AQMS) tahun 2023-2025.

1.3.1. Tujuan Khusus

1. Mengetahui distribusi kejadian pneumonia pada balita di Kota Padang selama periode tahun 2023-2025.
2. Mengetahui distribusi frekuensi polutan udara (PM_{10} , $PM_{2.5}$, NO_2 , CO, dan O_3) berdasarkan radius AQMS di Kota Padang pada periode tahun 2023-2025.
3. Mengetahui pola keterlambatan efek paparan polutan udara terhadap kejadian pneumonia pada balita di Kota Padang pada tahun 2023-2025.
4. Mengetahui waktu keterlambatan dengan risiko tertinggi kejadian pneumonia pada balita akibat paparan polutan udara di Kota Padang pada tahun 2023-2025.
5. Mengetahui besarnya risiko kejadian pneumonia pada balita berdasarkan tingkat paparan polutan udara di Kota Padang tahun 2023-2025 menggunakan pendekatan DLNM.

1.4. Manfaat Penelitian

1.4.1. Puskesmas

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi ilmiah bagi puskesmas dalam memahami pola kejadian pneumonia pada balita yang dikaitkan dengan paparan polutan udara di wilayah kerjanya. Selain itu, hasil penelitian ini dapat memberikan gambaran mengenai hubungan setiap parameter polutan udara terhadap kejadian pneumonia pada balita, termasuk adanya efek keterlambatan paparan. Informasi tersebut diharapkan dapat menjadi dasar bagi puskesmas dalam perencanaan kegiatan promotif dan preventif, serta penguatan upaya pencegahan pneumonia pada balita berbasis risiko lingkungan di Kota Padang.

1.4.2. Dinas Lingkungan Hidup Provinsi Sumatera Barat

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi ilmiah terkait pengaruh polutan udara terhadap kejadian pneumonia pada balita di Kota Padang. Selain itu,

hasil penelitian ini dapat memberikan informasi mengenai gambaran konsentrasi polutan udara serta besarnya risiko kesehatan yang ditimbulkan, sehingga dapat menjadi bahan pertimbangan bagi Dinas Lingkungan Hidup Provinsi Sumatera Barat dalam perumusan kebijakan, evaluasi, dan penguatan program pengendalian pencemaran udara.

1.4.3. Bagi Masyarakat

Penelitian ini diharapkan dapat menjadi sumber informasi bagi masyarakat mengenai hubungan antara paparan polutan udara dan kejadian pneumonia pada balita. Dengan meningkatnya pemahaman tersebut, masyarakat diharapkan mampu melakukan upaya pencegahan secara mandiri, seperti membatasi aktivitas luar ruangan pada kondisi kualitas udara buruk serta meningkatkan perlindungan kesehatan balita.

1.4.4. Bagi Peneliti

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memperkaya wawasan dan pengembangan ilmu pengetahuan di bidang epidemiologi lingkungan, khususnya terkait hubungan polutan udara dan kejadian pneumonia pada balita menggunakan pendekatan *Distributed Lag Non-Linear Model* (DLNM). Selain itu, penelitian ini dapat menjadi pengalaman ilmiah yang berharga bagi peneliti serta menjadi referensi bagi penelitian selanjutnya yang berkaitan dengan pencemaran udara dan dampaknya terhadap kesehatan anak.

1.5. Ruang Lingkup Penelitian

Penelitian ini menggunakan desain studi ekologi untuk menganalisis hubungan antara paparan polutan udara terhadap kejadian pneumonia pada balita di Kota Padang. Parameter polutan udara yang dikaji meliputi PM_{10} , $PM_{2.5}$, NO_2 , CO, dan O_3 . Seluruh data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data sekunder yang diperoleh dari Dinas Lingkungan Hidup Provinsi Sumatera Barat untuk data polutan udara, dan dari Puskesmas yang masuk dalam radius AQMS untuk data kejadian pneumonia pada balita. Data dianalisis berdasarkan wilayah yang berada dalam radius *Air Quality Monitoring System* (AQMS) di Kota Padang selama periode tahun 2023–2025. Analisis data yang dilakukan meliputi analisis deskriptif untuk menggambarkan distribusi kejadian pneumonia pada balita serta pola konsentrasi polutan udara, dan analisis *Distributed Lag Non-Linear Model* (DLNM) untuk menilai hubungan non-linear dan efek keterlambatan paparan polutan udara terhadap kejadian pneumonia

pada balita. Seluruh proses pengolahan dan analisis data dilakukan menggunakan perangkat lunak *R Studio*.

